

## 発明の名称

薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法並びにヘッドジンバルアセンブリおよびハードディスク装置

## 発明の背景

### 5 発明の技術分野

#### 【0001】

本発明は、少なくとも誘導型電磁変換素子を有する薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法並びにヘッドジンバルアセンブリおよびハードディスク装置に関する。

## 関連技術の説明

### 10 【0002】

近年、ハードディスク装置の面記録密度が著しく向上している。特に最近ではハードディスク装置の面記録密度は、160～200ギガバイト/プラッタに達し、更にそれを超える勢いである。これに伴い、薄膜磁気ヘッドの性能向上が求められている。

### 15 【0003】

薄膜磁気ヘッドは、書込み用の誘導型電磁変換素子を有する記録ヘッドと、読み出し用の磁気抵抗効果素子（以下、MR (Magnetoresistive) 素子ともいう）を有する再生ヘッドとを積層した構造の複合型薄膜磁気ヘッドが広く用いられている。

### 20 【0004】

この種の複合型薄膜磁気ヘッドでは、記録ヘッドは、一般に記録媒体に対向する媒体対向面（エアベアリング面、ABSともいう）、下部磁極層、上部磁極層、記録ギャップ層および薄膜コイルとを有している。下部磁極層および上部磁極層は、媒体対向面の側において互いに対向する磁極部（対向磁極部）を有し、その  
25 対向磁極部から離れた位置に配置された連結部によって、互いに磁氣的に連結されている。記録ギャップ層は、各対向磁極部の間に形成されている。薄膜コイル

は下部磁極層および上部磁極層と絶縁され、少なくとも一部がこれらの間に配置されている。

#### 【0005】

5 記録ヘッドの性能、とりわけ記録密度を上げるためには、記録媒体におけるトラック密度の向上が必要である。そのためには、トラック幅、すなわち、2つの対向磁極部の媒体対向面における幅を数ミクロンからサブミクロン寸法まで小さくした狭トラック構造の記録ヘッドを実現しなければならないことから、記録ヘッドは半導体加工技術を利用して製造されていた。

#### 【0006】

10 記録ヘッドは、トラック幅を小さくしていくと、2つの対向磁極部の間で高密度の磁束を発生させることが難しくなってくるため、磁極部の材料に高い飽和磁束密度を有する磁性材料を用いることが望まれていた。

その一方、記録密度の向上に伴い記録信号の周波数が高くなってくると、記録ヘッドでは、磁束が変化する速度を向上させること、すなわち、フラックスライズタイムを短縮することが求められる。しかも、高周波帯域において、オーバーライト特性や非線形トランジションシフト (Non-linear Transition Shift) 等の記録特性の劣化が少ないことが求められる。

#### 【0007】

20 高周波帯域における記録特性の向上のためには、記録ヘッドの磁路長を短くすることによって、周波数が高く変化の速い記録信号のすばやい変化に追従し得るようにすることが望ましい。磁路長は、主に、下部磁極層または上部磁極層における媒体対向面から連結部までの長さ（以下「ヨーク長」という）によって決まるので、磁路長の短縮にはヨーク長の短縮が有効である。また、媒体対向面から連結部までの間に薄膜コイルが巻かれる場合、ヨーク長の短縮には、薄膜コイル  
25 の巻線のうち、媒体対向面から連結部までの間に配置される部分のピッチ（以下「巻線ピッチ」という）を小さくすることが有効である。

【0008】

従来の薄膜磁気ヘッドは、大別すると、連結部の周りに巻かれた平面渦巻き状の薄膜コイルを有する薄膜磁気ヘッド（下記特許文献1参照）と、下部磁極層と上部磁極層の少なくとも一方の周りに螺旋状に（h e r i c a l）巻回された薄膜コイルを有する薄膜磁気ヘッド（下記特許文献2，3，4参照）とがあった。

【0009】

前者の薄膜磁気ヘッドは、磁束の多くを連結部の近傍に発生し、そのうち下部磁極層および上部磁極層により対向磁極部に導かれた磁束によって、情報を記録する。しかし、前者の薄膜磁気ヘッドでは、磁束の多くが連結部の周りに発生するため、発生する磁束は数パーセント程度しか記録に用いられてなく、磁束による記録が効率的に行われていなかった。そのため、前者の薄膜磁気ヘッドでは、記録に用いられる磁束を増やすため、薄膜コイルのターン数をできるだけ多くするようにしていた。そのための技術として、従来、例えば、第1のコイルの巻線間に第2のコイルの巻線を配置することによって、巻線ピッチを小さくする技術があった（下記特許文献5参照）。

【0010】

また、後者の薄膜磁気ヘッドでは、薄膜コイルが媒体対向面の近くに配置されているため、前者に比較すると、発生する磁束が効率的に記録に用いられる。そのため、後者の薄膜磁気ヘッドは、平面渦巻き状の薄膜コイルを有する前者の薄膜磁気ヘッドよりも薄膜コイルのターン数を少なくすることができ、ヨーク長の短縮に有益であった。

【0011】

この後者の薄膜磁気ヘッドでも、高周波帯域における記録特性の向上のためには、ヨーク長の短縮が有効であり、そのためには、薄膜コイルの巻線ピッチを可能な限り小さくすることが有効である。また、記録に用いられる磁束を増やすためには、薄膜コイルのターン数を増やすことも有効である。これらをすべて実現

させるためには、可能な限り巻線ピッチを小さくすることによって、ヨーク長を短縮し、薄膜コイルのターン数を増やせるようにする必要がある。そのためには薄膜コイルの各ターンの幅（ターン幅）を狭める必要がある。

#### 【0012】

5       しかし、薄膜コイルにおけるターン幅を狭めると、薄膜コイルの抵抗値が上昇し、薄膜コイルから発生する熱も多くなる。薄膜コイルから発生する熱が多くなると、その熱によって磁極部が記録媒体に近づくように突出し、記録媒体に衝突しやすくなってしまう。このことから、従来の薄膜磁気ヘッドは、ターン幅をあまり小さくすることができなかつたため、ヨーク長を短縮することもできなかった。

#### 【0013】

15       また、従来から、薄膜コイルはフレームめっき法で形成されている。フレームめっき法で用いるフレームは、各ターンの間に配置される壁部分を有している。その壁部分は、形状を維持するため、幅をある程度の大きさにしなければならないから、薄膜コイルをフレームめっき法で形成するときは、隣接するターンの間隔（ターン間隔）を小さくすることが難しくなる。この点、下記特許文献5に記載された技術を適用すると、各ターンの間隔を小さくすることができるが、この薄膜磁気ヘッドは平面渦巻き状の薄膜コイルを有するため、発生する磁束を効率よく記録に用いることができないという欠点がある。

20       特許文献1：米国特許第6, 043, 959号明細書

特許文献2：米国特許第5, 995, 342号明細書

特許文献3：特開2000-311311号公報

特許文献4：米国特許第6, 459, 543B1号明細書

特許文献5：米国特許第6, 191, 916B1号明細書

25       発明の目的および概要

#### 【0014】

本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、抵抗値を上げることなく、高周波帯域における記録特性に優れた構造を備えた薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法並びにヘッドジンバルアセンブリおよびハードディスク装置を提供することを目的とする。

5           【0015】

上記課題を解決するため、本発明は、記録媒体に対向する媒体対向面の側に互いに対向する磁極部を有し、磁氣的に連結された第1および第2の磁極群と、各磁極部の間に形成された記録ギャップ層と、第1および第2の磁極群に対して絶縁され、第1および第2の磁極群の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された  
10 薄膜コイルとが基板上に積層された構成を有し、薄膜コイルは、第1の磁極群と第2の磁極群との間に配置された複数の内導体部を有する第1の導体群と、第2の磁極群の外側に配置された外導体部を有する第2の導体群と、各内導体部と各外導体部とを接続する接続部を有する接続部群とを有し、各内導体部が互いに絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を第1の導体群が有し、各外導体部が互いに  
15 絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を第2の導体群が有する薄膜磁気ヘッドを特徴とする。

この薄膜磁気ヘッドは、第1の導体群と、第2の導体群が絶縁接触構造を有しているから、各内導体部および外導体部が、それぞれ隣り合うもの同士の間絶縁膜のみが介在し、それぞれの間隔がその絶縁膜の厚さに等しくなっている。

20           【0016】

上記薄膜磁気ヘッドは、各内導体部のいずれか1つが、第1の磁極群に絶縁膜を介して接触していることが好ましい。この構成を有することにより、薄膜磁気ヘッドは、ヨーク長をより短縮することができる。

          【0017】

25           また、第1の導体群および第2の導体群は、各内導体部および各外導体部の媒体対向面に交差する方向の配置密度が、第2の磁極群の外側からその第2の磁極

群に向かって増加しているとよい。

この場合、薄膜磁気ヘッドは、第2の磁極群に近づくにしたいが各内導体部と外導体部がそれぞれ次第に密集し、巻線ピッチが小さくなるようになっている。

【0018】

5       さらに、各接続部が、第2の磁極群よりも外側において媒体対向面に沿って配置されていることが好ましい。

これにより、エアベアリング面から各接続部までの距離が短縮されている。

【0019】

さらにまた、各接続部が、媒体対向面からの距離が相違する位置に配置されて  
10       いるとよい。

この場合、各接続部は、エアベアリング面に沿った方向にずれて配置されている。

【0020】

さらに、各内導体部および各外導体部は、第2の磁極群に対応する部分からそ  
15       の外側に向かって、経路幅が漸次広がる可変幅構造を有しているとよい。

これにより、各内導体部および各外導体部は、電流の流れを妨げることが少なくなるから、電流の流れがスムーズになる。

【0021】

この薄膜磁気ヘッドの場合、第1の磁極群が、媒体対向面に向かって突出する  
20       突出部を有することが好ましい。

こうすると、各内導体部および各外導体部の経路幅を第1の磁極群に沿って変化させることができる。

【0022】

また、各内導体部および各外導体部が、突出部に対応した箇所に、経路幅が最  
25       も狭い最狭部を有することが好ましい。

これにより、各内導体部および各外導体部は、経路幅が狭くなる範囲が極力少

なくなっている。

【0023】

さらに、突出部が、媒体対向面に向かって突出する曲面を有するとよい。

5 この場合、各内導体部および各外導体部の側部の形状を突出部に沿って変化させることができる。

【0024】

そして、各内導体部および各外導体部が、突出部の側面形状に対応して湾曲していることが好ましい。

10 この場合、各内導体部および各外導体部の経路幅をなだらかに変化させることができる。

【0025】

さらに、各内導体部または各外導体部の間に介在される絶縁膜が、複数のアルミナ膜を積層して形成されていることが好ましい。

この絶縁膜は緻密な膜になる。

15 【0026】

第2の磁極群が、2つの平坦な磁極層を積層して形成されていることが好ましい。

この場合、磁束の飽和が発生しないようにすることができる。

【0027】

20 そして、本発明は、記録媒体に対向する媒体対向面の側に互いに対向する磁極部を有し、磁氣的に連結された第1および第2の磁極群と、各磁極部の間に形成された記録ギャップ層と、その第1および第2の磁極群に対して絶縁され、第1および第2の磁極群の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとを、基板上に積層して薄膜磁気ヘッドを製造する薄膜磁気ヘッドの製造方法であ  
25 って、以下の(1)～(9)に示す各工程を有する薄膜磁気ヘッドの製造方法を提供する。

(1) 基板上に設けた第1の磁極層上に絶縁膜を介して接触する複数の第1の内導体部および下部接続層と、ヨーク長を決める位置に配置された第2の磁極層とを形成する工程、

5 (2) 第2の磁極層および互いに隣り合う各第1の内導体部の間に、分離用絶縁膜で覆われた内溝部を形成する工程、

(3) 各内溝部に第2の内導体部を形成し、第1および第2の内導体部により第1の導体群を形成する工程、

(4) 第2の磁極層上に第3の磁極層を積層して第1の磁極群を形成する工程

10 (5) 記録ギャップ層を設けるようにして、第1の磁極群上に前記第2の磁極群を形成する工程、

(6) 第2の磁極群に絶縁膜を介して接触する複数の第1の外導体部と、ヨーク長を決める位置に配置された絶縁部を形成する工程、

(7) 絶縁部および互いに隣り合う各第1の外導体部の間に、分離用絶縁膜で覆われた外溝部を形成する工程、

15 (8) 各外溝部に第2の外導体部を形成し、第1および第2の外導体部により第2の導体群を形成する工程、

(9) 下部接続層に上部接続層を配置して接続部群を形成し、その接続部群と第1および第2の導体群とによって、薄膜コイルを形成する工程。

20 これらの各工程を経ることにより、第1の導体群と、第2の導体群がそれぞれ絶縁接触構造を有する薄膜磁気ヘッドが得られる。

#### 【0028】

上記製造方法では、第1の内導体部、第2の内導体部、第1の外導体部および第2の外導体部をそれぞれめっきにより形成することが好ましい。

25 また、第2の内導体部および第2の外導体部は、電極膜をスパッタ法により形成し、その電極膜上にめっきによる導電層を形成することによって、形成されているとよい。



さらに、分離用絶縁膜を複数のアルミナ膜を積層して形成することもできる。

【0029】

そして、本発明は、記録媒体に対向する媒体対向面の側に互いに対向する磁極部を有し、磁氣的に連結された第1および第2の磁極群と、各磁極部の間に形成された記録ギャップ層と、その第1および第2の磁極群に対して絶縁され、第1および第2の磁極群の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとを、基板上に積層して薄膜磁気ヘッドを製造する薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、以下の(1)～(10)に示す各工程を有する薄膜磁気ヘッドの製造方法を提供する。

10 (1) 基板上に設けた第1の磁極層上に絶縁膜を介して接触する複数の第1の内導体部および下部接続層と、ヨーク長を決める位置に配置された第2の磁極層とを形成する工程、

(2) 第2の磁極層および互いに隣り合う各第1の内導体部の間に、分離用絶縁膜で覆われた内溝部を形成する工程、

15 (3) 各内溝部に第2の内導体部を形成し、第1および第2の内導体部により第1の導体群を形成する工程、

(4) 第2の磁極層上に第3の磁極層を積層して第1の磁極群を形成する工程

(5) 記録ギャップ層を設けるようにして、第1の磁極群上に第2の磁極群を形成する工程、

20 (6) 第2の磁極群に絶縁膜を介して接触する複数の第1の外導体部を形成する工程、

(7) 各第1の外導体部の表面に各外導体部の分離用絶縁膜を形成し、各第1の外導体部の間に分離用絶縁膜で覆われた外溝部を形成する工程、

25 (8) 外溝部を埋めるようにして、薄膜コイルの配置領域に導電層を形成する工程、

(9) 導電層により、各第1の外導体部に分離用絶縁膜を介して接触する第2

の外導体部を形成し、第１および第２の外導体部により第２の導体群を形成する工程、

(１０) 下部接続層に上部接続層を配置して接続部群を形成し、その接続部群と、第１および第２の導体群とによって、薄膜コイルを形成する工程。

5       これらの各工程を経ることによっても、第１の導体群と、第２の導体群がそれぞれ絶縁接触構造を有する薄膜磁気ヘッドが得られる。

#### 【００３０】

また、この製造方法の場合、第２の内導体部および第２の外導体部は、電極膜をスパッタ法により形成し、その電極膜上にめっきによる導電層を形成すること  
10       によって、形成されているとよい。

さらに、分離用絶縁膜を複数のアルミナ膜を積層して形成することもできる。

#### 【００３１】

そして、本発明は、基台上に形成された薄膜磁気ヘッドと、基台を固定するジンバルとを備え、薄膜磁気ヘッドは、記録媒体に対向する媒体対向面の側に互い  
15       に対向する磁極部を有し、磁氣的に連結された第１および第２の磁極群と、各磁極部の間に形成された記録ギャップ層と、第１および第２の磁極群に対して絶縁され、第１および第２の磁極群の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとが基板上に積層された構成を有し、薄膜コイルは、第１の磁極群と第  
20       ２の磁極群との間に配置された複数の内導体部を有する第１の導体群と、第２の磁極群の外側に配置された外導体部を有する第２の導体群と、各内導体部と各外導体部とを接続する接続部を有する接続部群とを有し、各内導体部が互いに絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を第１の導体群が有し、各外導体部が互いに絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を第２の導体群が有するヘッドジンバルアセンブリを提供する。

#### 25       【００３２】

また、本発明は、薄膜磁気ヘッドを有するヘッドジンバルアセンブリと、薄膜

磁気ヘッドに対向する記録媒体とを備え、薄膜磁気ヘッドは、記録媒体に対向する媒体対向面の側に互いに対向する磁極部を有し、磁氣的に連結された第1および第2の磁極群と、各磁極部の間に形成された記録ギャップ層と、第1および第2の磁極群に対して絶縁され、第1および第2の磁極群の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとが基板上に積層された構成を有し、薄膜コイルは、第1の磁極群と第2の磁極群との間に配置された複数の内導体部を有する第1の導体群と、第2の磁極群の外側に配置された外導体部を有する第2の導体群と、各内導体部と各外導体部とを接続する接続部を有する接続部群とを有し、各内導体部が互いに絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を第1の導体群が有し、各外導体部が互いに絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を第2の導体群が有するハードディスク装置を提供する。

The present invention will be more fully understood from the detailed description given hereinbelow and the accompanying drawings which are given by way of illustration only, and thus are not to be considered as limiting the present invention.

#### 図面の簡単な説明

##### 【0033】

図1は、本発明の第1の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの主要部を示す分解斜視図である。

図2は、薄膜コイルを構成する第1の導体群および接続部群を示す平面図である。

図3は、薄膜コイルを構成する第2の導体群を示す平面図である。

図4は図2のIV-IV線断面図である。

図5Aおよび図5Bは、薄膜磁気ヘッドを製造する過程の一工程を示す断面図である。

図6Aおよび図6Bは、それぞれ図5の後続の工程を示す断面図である。

- 図 7 A および図 7 B は、それぞれ図 6 の後続の工程を示す断面図である。
- 図 8 A および図 8 B は、それぞれ図 7 の後続の工程を示す断面図である。
- 図 9 A および図 9 B は、それぞれ図 8 の後続の工程を示す断面図である。
- 図 10 A および図 10 B は、それぞれ図 9 の後続の工程を示す断面図である。
- 5 図 11 A および図 11 B はそれぞれ図 10 の後続の工程を示す断面図である。
- 図 12 A および図 12 B はそれぞれ図 11 の後続の工程を示す断面図である。
- 図 13 A および図 13 B はそれぞれ図 12 の後続の工程を示す断面図である。
- 図 14 A および図 14 B はそれぞれ図 13 の後続の工程を示す断面図である。
- 図 15 A および図 15 B はそれぞれ図 14 の後続の工程を示す断面図である。
- 10 図 16 A および図 16 B はそれぞれ図 15 の後続の工程を示す断面図である。
- 図 17 A および図 17 B はそれぞれ図 16 の後続の工程を示す断面図である。
- 図 18 A および図 18 B はそれぞれ図 17 の後続の工程を示す断面図である。
- 図 19 A および図 19 B はそれぞれ図 18 の後続の工程を示す断面図である。
- 図 20 A および図 20 B はそれぞれ図 19 の後続の工程を示す断面図である。
- 15 図 21 A および図 21 B はそれぞれ図 20 の後続の工程を示す断面図である。
- 図 22 A および図 22 B はそれぞれ図 21 の後続の工程を示す断面図である。
- 図 23 は、第 1 の変形例における薄膜磁気ヘッドを構成する第 1 の導体群および接続部群を示す平面図である。
- 図 24 は、同じく第 2 の導体群を示す平面図である。
- 20 図 25 は、第 2 の変形例における薄膜磁気ヘッドを構成する第 1 の導体群および接続部群を示す平面図である。
- 図 26 は、同じく第 2 の導体群を示す平面図である。
- 図 27 は、第 3 の変形例における薄膜磁気ヘッドを構成する第 1 の導体群および接続部群を示す平面図である。
- 25 図 28 は、同じく第 2 の導体群を示す平面図である。
- 図 29 は、第 4 の変形例における薄膜磁気ヘッドを構成する第 1 の導体群および

び接続部群を示す平面図である。

図 30 は、同じく第 2 の導体群を示す平面図である。

図 31 A および図 31 B は、第 2 の実施の形態における薄膜磁気ヘッドを製造する過程の一工程を示す断面図である。

5 図 32 A および図 32 B はそれぞれ図 31 の後続の工程を示す断面図である。

図 33 A および図 33 B はそれぞれ図 32 の後続の工程を示す断面図である。

図 34 A および図 34 B はそれぞれ図 33 の後続の工程を示す断面図である。

図 35 A および図 35 B はそれぞれ図 34 の後続の工程を示す断面図である。

図 36 A および図 36 B はそれぞれ図 35 の後続の工程を示す断面図である。

10 図 37 A および図 37 B はそれぞれ図 36 の後続の工程を示す断面図である。

図 38 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドを備えたハードディスク装置を示す斜視図である。

#### 好適な実施の形態の詳細な説明

##### 【0034】

15 以下、本発明の実施の形態について図面を参照しつつ説明する。なお、同一要素には同一符号を用い、重複する説明は省略する。

##### 【0035】

#### 第 1 の実施の形態

##### (薄膜磁気ヘッドの構造)

20 まず、図 1 ～図 4 を参照して、本発明の第 1 の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの構造について説明する。ここで、図 1 は本発明の第 1 の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッド 300 の主要部を示す分解斜視図である。図 2 は、薄膜コイル 110 を構成する第 1 の導体群 116 および接続部群 130 を示す平面図、図 3 は同じく第 2 の導体群 120 を示す平面図である。図 4 は図 2 の IV-IV 線断面図である。

25

##### 【0036】

第1の実施の形態にかかる薄膜磁気ヘッド300は、基板1と、基板1に積層された再生ヘッドおよび記録ヘッド（誘導型電磁変換素子）とを有し、記録媒体に対向する媒体対向面としてのエアベアリング面30とを有している。なお、以下では、薄膜磁気ヘッド300の主要部の構造について説明し、薄膜磁気ヘッドの構造のその他の部分の構造については、後述する製造工程の中で説明する。

#### 【0037】

再生ヘッドは、エアベアリング面30の近傍に配置された磁氣的信号検出用のMR素子5を有している。また、再生ヘッドはエアベアリング面30側においてMR素子5を挟んで対向するように配置され、MR素子5をシールドしている下部シールド層3および上部シールド層8を有し、さらに、MR素子5と下部シールド層3との間に配置された下部シールドギャップ膜4と、MR素子5と上部シールド層8との間に配置された上部シールドギャップ膜7とを有している。

#### 【0038】

記録ヘッドは、下部磁極層10、上部磁極層25、記録ギャップ層24および薄膜コイル110を有し、これらが基板1上に積層された構成を有している。下部磁極層10および上部磁極層25は、エアベアリング面30の側に互いに対向する磁極部（対向磁極部）を有し、後述する連結部31において互いに磁氣的に連結されている。記録ギャップ層24は、下部磁極層10の対向磁極部と上部磁極層25の対向磁極部との間に形成されている。薄膜コイル110は、下部磁極層10および上部磁極層25に対して絶縁された状態で、上部磁極層25の回りに螺旋状に巻回されている。本実施の形態における下部磁極層10と上部磁極層25は、それぞれ本発明における第1の磁極群と第2の磁極群に対応している。

#### 【0039】

下部磁極層10は、図4に示すように、第1の磁極部10aと、第2の磁極部10bと、第3の磁極部10cとを有し、第4の磁極部10dと、第5の磁極部10eと、第6の磁極部10fおよび第7の磁極部10gを有している。

第1の磁極部10aは、薄膜コイル110の第1の導体群116に対向する位置に配置されている。第2の磁極部10bは、エアベアリング面30の近傍において、第1の磁極部10aよりも上部磁極層25側に突出するようにして、第1の磁極部10aに接続されている。第3の磁極部10cは、後述する第1の導体群116、第2の導体群120の一部を挟んでエアベアリング面30から離れた位置において、第1の磁極部10aよりも上部磁極層25側に突出するようにして、第1の磁極部10aに接続されている。この第3の磁極部10cは図2に示すように、柱部32aと、柱部32aからエアベアリング面30側に向かって突出する突出部32bとを有し、突出部32bは円柱の一部をなす曲面（円柱状曲面）を有している。柱部32aは、平面形状が長方形の柱状に形成されている。

#### 【0040】

第3の磁極部10c、第5の磁極部10eおよび第7の磁極部10gは上部磁極層25と下部磁極層10とを磁氣的に連結する連結部31を構成している（図4A参照）。また、第6の磁極部10fのうち、記録ギャップ層24を挟んで後述するトラック幅規定部25Aと対向する部分が、本発明における対向磁極部となっている。

#### 【0041】

また、下部磁極層10と上部磁極層25は、図4Bに示すように、トリム構造を有している。このトリム構造により、狭トラックの書込み時に発生する磁束の広がりによる実効的な記録トラック幅の増加が防止されるようになっている。

上部磁極層25は、図1に示すように、記録ギャップ層24に接する第1の磁極部25aと、第1の磁極部25aの上に配置された第2の磁極部25bとを有している。また、上部磁極層25は、トラック幅規定部25Aと、ヨーク部25Bとを有している。トラック幅規定部25Aは、本発明における対向磁極部であって、記録トラック幅を規定する。また、トラック幅規定部25Aは、エアベアリング面30に配置される端部を有し、この端部からヨーク部25Bにつながる

腕部を有している。ヨーク部 25B は、一定の幅を有する定幅部と、定幅部からトラック幅規定部 25A に近づくにしたがい、漸次幅が狭まる先細部とを有している。

#### 【0042】

5 薄膜コイル 110 は、第 1 の導体群 116 と、第 2 の導体群 120 と、接続部群 130 とを有し、これらがつながることによって、一連の 5 ターンループを形成し、上部磁極層 25 の回りに螺旋状に巻回されている。

図 2 および図 4A に示すように、第 1 の導体群 116 は、下部磁極層 10 と上部磁極層 25 との間に配置された第 1 の内導体部 112, 114 と、第 2 の内導体部 111, 113, 115 とを有している。第 1 の導体群 116 は、各内導体部 111 ~ 115 の互いに隣り合うもの同士が後述する分離用絶縁膜 15 を介して接触する絶縁接触構造を有し、第 1 の磁極部 10a における絶縁膜 11 が配置された領域に設けられている。また、内導体部 111 が第 2 の磁極部 10b に分離用絶縁膜 15 を介して接触し、内導体部 115 が第 3 の磁極部 10c に分離用絶縁膜 15 を介して接触している（図 1 および図 4A 参照）。

#### 【0043】

各内導体部 111 ~ 115 は、それぞれ矩形状端部 111a ~ 115a と、矩形状端部 111b ~ 115b とを有し、各矩形状端部の間の部分がエアベアリング面 30 に沿った方向（図 2 の Y 方向）に長いつなぎ部 111c ~ 115c となっている。そして、第 1 の導体群 116 は、各つなぎ部 111c ~ 115c において、エアベアリング面 30 に交差する方向（交差方向、図 2 および図 3 における X 方向）の配置密度が変化する密度変化構造を有している。つまり、内導体部 111 ~ 115 は、エアベアリング面 30 から突出部 32b までの最短ライン 50 の長さと同じ幅 W の領域に配置されている個数（配置数）が、上部磁極層 25 の外側から上部磁極層 25 に向かい 1 本から 5 本まで順次増加している。これにより、第 1 の導体群 116 は、上部磁極層 25 に近づくにしたがい内導体部 1



11～115が次第に密集し、巻線ピッチが小さくなるようになっている。

#### 【0044】

また、内導体部111～115は、上部磁極層25に対応する部分からその外側に向かって、それぞれの電流に交差する方向の幅（経路幅）が漸次広がる可変幅構造を有し、第3の磁極部10cの突出部32bに対応した箇所に、その経路幅が最も狭い最狭部を有している。

#### 【0045】

分離用絶縁膜15は、厚さが第1の導体群116の底部と下部磁極層10との間の最短距離以下に形成されている。つまり、図4Aに示すように、第1の導体群116と下部磁極層10との間の最短距離は、内導体部112、114の底部と下部磁極層10との間に介在している絶縁膜11の厚さと等しく、分離用絶縁膜15の厚さが絶縁膜11の厚さ以下になっている。

#### 【0046】

次に、図3に示すように、第2の導体群120は、いずれも上部磁極層25の外側の第1の導体群116とは異なる平面上に配置された第1の外導体部122、124と、第2の外導体部121、123、125とを有している。また、第2の導体群120は、各外導体部121～125の互いに隣り合うもの同士が分離用絶縁膜34を介して接触する絶縁接触構造を有している。そして、外導体部121が後述する絶縁部33に分離用絶縁膜34を介して接触し、外導体部125が絶縁部33に分離用絶縁膜34を介して接触している（図4A参照）。

#### 【0047】

外導体部121～125はそれぞれ矩形状端部122a～125aと、矩形状端部122b～125bとを有し、各矩形状端部の間の部分がエアベアリング面30に沿った方向に長いつなぎ部121c～125cとなっている。第2の導体群120は、第1の導体群116と同様に、外導体部121～125のつなぎ部121c～125cにおいて、エアベアリング面30に交差する方向の配置密度

が変化する密度変化構造を有している。

【0048】

また、外導体部121～125も、上部磁極層25に対応する部分からその外側に向かって、それぞれの経路幅が漸次広がる可変幅構造を有し、第3の磁極部  
5 10cの突出部32bに対応した箇所に、その経路幅が最も狭い最狭部を有している。

【0049】

接続部群130は、複数の接続部131～140を有している。接続部131～140は、各内導体部111～115と各外導体部121～125とを接続するために設けられたもので、上部磁極層25よりも外側において、エアベアリング面30に沿って配置され、次のようにして設けられている。すなわち、接続部  
10 131, 133, 135, 137, 139は、それぞれ、外導体部121～125の矩形状端部121b～125bと、内導体部111～115の矩形状端部111a～115aとを接続するように設けられている。また、接続部132, 1  
15 34, 136, 138は、それぞれ、外導体部122～125の矩形状端部122a～125aと、内導体部111～114の矩形状端部111b～114bとを接続するように設けられている。さらに、接続部140は、リード層126と内導体部115の矩形状端部115bとを接続するように設けられている。

【0050】

そして、薄膜コイル110は、外導体部121から接続部131を介して内導体部111へとつながり、さらに、内導体部111から接続部132を介して外導体部122へとつながり、これによって、1ターンのループを形成している。以下同様にして4ターンのループが形成されることによって、薄膜コイル110が全体で一連の螺旋状ループを形成している。その後、薄膜コイル110はリー  
25 ド層126から図示しない外部の電極パッドに接続されている（外導体部121にも図示しない電極パッドが接続されている）。

## 【0051】

以上のように、薄膜磁気ヘッド300では、薄膜コイル110が上部磁極層25の回りに螺旋状に巻回されているため、薄膜コイル110によって発生する磁束を効率よく、記録に用いることができる。したがって、薄膜磁気ヘッド300によれば、平面渦巻き状の薄膜コイルを有する薄膜磁気ヘッドに比べて、薄膜コイルのターン数を少なくすることができるため、ヨーク長を短縮することができる。しかも、薄膜磁気ヘッド300は、平面渦巻き状の薄膜コイルを有する薄膜磁気ヘッドに比べて、薄膜コイル110の配置されている領域を小さくすることができるから、小型化が可能である。

## 10 【0052】

また、薄膜コイル110は、第1の導体群116を構成する各内導体部111～115と、第2の導体群120を構成する外導体部121～125とが絶縁膜（それぞれ、分離用絶縁膜15, 34）を介して接触する絶縁接触構造を有している。そのため、各内導体部111～115と外導体部121～125は、それぞれ互いに隣り合うもの同士の間には絶縁膜のみが介在し、それぞれの間隔がその絶縁膜（分離用絶縁膜15, 34）の厚さに等しくなっている。よって、各内導体部111～115は、隣り合うもの同士の間隙がほとんどなく密集して高密度に配置され、外導体部121～125も隣り合うもの同士の間隙がほとんどなく密集して高密度に配置されている。したがって、各内導体部、外導体部の経路幅をあまり狭めなくても、ヨーク長を短縮することができる。また、各内導体部、外導体部の経路幅をあまり狭めなくてもよいので、電流の流れを妨げることが少なく、したがって、抵抗値の上昇が抑制されている。

## 20 【0053】

そして、第3の磁極部10cが上部磁極層25と下部磁極層10とを磁気的に連結する連結部31の一部を構成しているから、第3の磁極部10c（の突出部32b）とエアベアリング面30との間の最短距離、すなわち、最短ライン50

の長さがヨーク長になる。したがって、第1の導体群116と、第2の導体群120が上述の高密配置を有していることによって、薄膜磁気ヘッド300では、ヨーク長がより短縮されている。

#### 【0054】

5        しかも、第1の導体部群116の両側に位置する内導体部111、115が分離用絶縁膜15のみを介して第3の磁極部10c、第2の磁極部10bに接触しており、このことがヨーク長の一層の短縮化に寄与している。

10        そして、薄膜コイル110は、第1の導体群116と第2の導体群とに密度変化構造を有している。そのため、幅Wを狭めてヨーク長を短縮しても、最短ライン50上に巻線が確保され、薄膜コイル110のターン数が確保されるようになっている。したがって、薄膜磁気ヘッド300は、ターン数を確保しながらヨーク長を短縮することが可能である。これにより、高周波帯域における記録特性に優れた薄膜磁気ヘッドが実現される。しかも、薄膜コイル110における密度変化構造を有する部分、すなわち、各つなぎ部111c~115c、121c~125cがエアベアリング面30のごく近傍に配置されるので、薄膜コイル110

15        から発生する磁束が効率的に記録に用いられる。

#### 【0055】

20        また、内導体部111~115と外導体部121~125とを接続する各接続部が、上部磁極層25よりも外側において、エアベアリング面30に沿って配置されている。そのため、エアベアリング面30から各接続部までの距離が短縮されている。したがって、薄膜磁気ヘッド300の全体の大きさが小さくなり、薄膜磁気ヘッド300の小型化が可能である。

#### 【0056】

25        そして、内導体部111~115と外導体部121~125は、上述のような可変幅構造を有しているから、電流の流れを妨げることが少なく、抵抗値の上昇を抑制することができる。したがって、薄膜磁気ヘッド300は、薄膜コイル1

10による熱の発生を効果的に抑制することができる。また、第3の磁極部10が突出部32bを有しているから、その突出部32bに対応して各内導体部111から115および各外導体部121～125の幅が変化している。そして、各内導体部111～115および各外導体部121～125は、突出部32bに対応した箇所に最狭部を有しているから、経路幅が狭くなる範囲が極力小さくなっている。よって、より一層電流が流れやすくなり、抵抗値の上昇が抑制されるようになっている。

#### 【0057】

そして、詳しくは後述するが、分離用絶縁膜15はCVD法によって形成される複数の薄いアルミナ膜が積層されてなっているから、緻密な膜である。そのため、最短ライン50上に配置される第2の磁極部10bから、第1の導体群116および第3の磁極部10cまでのそれぞれについて、相互の間隔を極めて小さくしながら確実に絶縁することができる。

#### 【0058】

後述するように、第2の磁極部10b、第4の磁極部10d、第6の磁極部10fおよび上部磁極層25の材料として、高飽和磁束密度材料を用いることができるが、そうすると、磁路の途中で磁束の飽和を防止することができる。その結果、薄膜コイル110で発生した起磁力を効率よく記録に用いることができる。

ところで、例えば上述した特許文献1に記載されているように、上部磁極層が幅の小さな磁極部分層と、その上面に接続された幅の大きなヨーク部分層と含む薄膜磁気ヘッドでは、特に記録トラック幅が小さくなったときに以下のような問題が生じる。すなわち、まず、この種の薄膜磁気ヘッドでは、磁極部分層とヨーク部分層との接続部分で磁路の断面積が急激に減少するため、この部分で磁束の飽和が生じ、ヨーク部分層から磁極部分層へ磁束が十分に伝達されないおそれがある。そのため、この薄膜磁気ヘッドではオーバーライト特性が劣化するおそれがある。

【0059】

また、上部磁極層が磁極部分層とヨーク部分層とを含む上記薄膜磁気ヘッドでは、ヨーク部分層から記録媒体に向けて磁束が漏れ、幅の大きなヨーク部分層によって、記録媒体に対して、データを記録すべき領域以外の領域にデータを書き込んでしまう、いわゆるサイドライトや、データを消去すべきでない領域のデータを消去してしまう、いわゆるサイドイレースが発生するおそれがある。いずれの場合にも、実効トラック幅が所望のトラック幅よりも大きくなってしまう。また、磁極部分層とヨーク部分層との位置関係は、フォトリソグラフィにおけるアライメントによって決定されるため、所望の位置関係からずれるときもある。そう

5  

10  

【0060】

これに対し、上述した薄膜磁気ヘッド300では、トラック幅を規定する上部磁極層25は平坦な層になっているので、磁極部分層とヨーク部分層との接続部分における磁束の飽和は発生しない。したがって、本実施の形態によれば、オーバーライト特性の劣化や、上述のようなサイドライトやサイドイレースが発生することはない。

15  

【0061】

また、薄膜磁気ヘッド300は、平坦な下地の上に平坦な上部磁極層25を形成しているから、上部磁極層25のトラック幅規定部を微細にかつ精度よく形成することができる。これにより、例えば従来は薄膜磁気ヘッドを量産するときには困難とされた0.2 $\mu$ m以下のトラック幅を実現することが可能になる。

20  

(薄膜磁気ヘッドの製造方法)

【0062】

次に、上述の図1～図4とともに、図5～図22を参照して、上述の構造を有する第1の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法について説明する。

25  

ここで、図5A～図22Aは、図2のIV-IV線に対応する各製造工程における

断面を示している。図5B～図22Bは、対向磁極部のエアベアリング面30に平行な断面を示している。

#### 【0063】

5 本実施の形態に係る製造方法では、まず、図5Aおよび図5Bに示すように、例えばアルミニウムオキサイド・チタニウムカーバイド ( $Al_2O_3 \cdot TiC$ ) よりなる基板1の上に、例えばアルミナ ( $Al_2O_3$ ) よりなる絶縁層2を約2～5  $\mu m$ の厚さで堆積する。次に、絶縁層2の上に、磁性材料 (例えばパーマロイ) よりなる再生ヘッド用の下部シールド層3を約2～3  $\mu m$ の厚さで堆積する。下部シールド層3は、例えば、フォトレジスト膜をマスクにして、めっき法によつて絶縁層2の上に選択的に形成する。次に、図示しないが、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層を、例えば約3～4  $\mu m$ の厚さで形成し、その絶縁膜を下部シールド層3が露出するまで、例えば化学機械研磨 (以下「CMP」という) により研磨して、表面の平坦化処理を行う。

#### 【0064】

15 次に、下部シールド層3の上に、絶縁膜としての下部シールドギャップ膜4を例えば、約20～40 nmの厚さで形成する。そして、下部シールドギャップ膜4の上に、MR素子5を数十nmの厚みで形成する。このMR素子5は、例えばスパッタによって形成したMR膜を選択的にエッチングすることによって形成する。また、MR素子5はエアベアリング面30が形成される位置の近傍に配置する。なお、MR素子5には、AMR素子、GMR素子、あるいはTMR (トンネル磁気抵抗効果) 素子等の磁気抵抗効果を示す感磁膜を用いた素子を用いることができる。次に、図示しないが、下部シールドギャップ膜4の上に、MR素子5に電氣的に接続される一対の電極層を数十nmの厚さで形成する。さらに、下部シールドギャップ膜4およびMR素子5の上に、絶縁膜としての上部シールドギャップ膜7を例えば約20～40 nmの厚さで形成し、MR素子5を下部シールドギャップ膜4と上部シールドギャップ膜7の中に埋設する (なお、図示の都合

上、下部シールドギャップ膜４と上部シールドギャップ膜７の境界の表示を省略している）。下部シールドギャップ膜４と上部シールドギャップ膜７に使用する絶縁材料としては、アルミナ、窒化アルミニウム、ダイヤモンドライクカーボン（DLC）等がある。また、下部シールドギャップ膜４と上部シールドギャップ膜  
5 7は、スパッタ法により形成してもよいし、化学的気相成長法（以下「CVD法」という）により形成してもよい。

#### 【0065】

次に、上部シールドギャップ膜７の上に、磁性材料よりなる再生ヘッド用の上部シールド層８を約 $1.0 \sim 1.5 \mu\text{m}$ の厚さで選択的に形成する。そして、こ  
10 こまでの工程で得られた積層体の上面全体の上に、例えばアルミナよりなる絶縁層９を例えば $0.3 \mu\text{m}$ の厚さで形成する。さらに、絶縁層９の上に、本発明における第１の磁極層として、下部磁極層１０を構成する第１の磁極部１０aを例えば $0.6 \mu\text{m}$ の厚さで形成する。

#### 【0066】

この場合、第１の磁極部１０aは、高飽和磁束密度材料であるFeAlN, FeN, FeCo, CoFeN, FeZrN等を材料に用い、スパッタ法で形成する。なお、第１の磁極部１０aは、材料としてNiFe（Ni：80重量%、Fe：20重量%）や、高飽和磁束密度材料であるNiFe（Ni：45重量%、Fe：55重量%）等を材料に用い、めっき法によって形成してもよい。ここで  
15 20 は、一例として、飽和磁束密度が $2.4 \text{ T}$ のCoFeNを用いて、スパッタ法で形成する場合を想定している。

#### 【0067】

次に、第１の磁極部１０aの上に、例えばアルミナよりなる絶縁膜１１を例えば $0.2 \mu\text{m}$ の厚さで形成する。続いて、その絶縁膜１１を選択的にエッチング  
25 して、第２の磁極部１０bと第３の磁極部１０cを形成すべき位置において、絶縁膜１１に開口部を設ける。



そして、図示しないが、第1の磁極部10aおよび絶縁膜11を覆うように、例えばスパッタ法により、導電性材料よりなる電極膜を約50～80nmの厚さで形成する。この電極膜はめっきの際の電極およびシード層として機能する。

#### 【0068】

5        さらに、図示しないが、電極膜の上にフォトリソグラフィによって、フレームを形成する。このフレームは、薄膜コイル110を構成する第1の内導体部112, 114をフレームめっき法によって設けるために形成する。

10        次に、図6Aおよび図6Bに示すように、電極膜を用いて電気めっきを行い、例えばCu（銅）よりなるめっき層を形成する。このめっき層およびその下の図示しない電極膜が第1の内導体部112, 114を構成する。第1の内導体部112, 114の厚さは例えば3.0～3.5μmである。なお、このめっき層を形成するときに、各矩形状端部（図では、矩形状端部114bを表示）も形成されている。次に、フレームを除去した後、電極膜について、第1の内導体部112, 114（それぞれの矩形状端部を含む）の下に存在する部分を残し、その他の部分

15        を例えばイオンビームエッチングにより除去する。

#### 【0069】

そして、図示しないが、フォトリソグラフィによって、第1の磁極部10aおよび絶縁膜11の上にフレームを形成する。このフレームは第2の磁極部10bおよび第3の磁極部10cをフレームめっき法によって設けるために形成する。

20        続いて、図7Aおよび図7Bに示すように、電気めっきを行い、第1の磁極部10aの上に、本発明における第2の磁極層として、ヨーク長を決める位置に配置された第3の磁極部10cとともに、第2の磁極部10bをそれぞれ磁性材料を用いて、例えば3.3～3.8μmの厚さで形成する。第2の磁極部10bおよび第3の磁極部10cの材料としては、例えば高飽和磁束密度材料が用いられる。例えば、飽和磁束密度が2.1TのCoNiFeや、飽和磁束密度が2.3TのFeCo<sub>x</sub>を用いることができる。本実施の形態では、第2の磁極部10b

25

および第3の磁極部10cを電気めっきによって形成する際に、特別な電極膜を設けることなく、パターンニングされていない第1の磁極部10aをめっき用の電極およびシード層として用いる。

#### 【0070】

5 さらに、図8Aおよび図8Bに示すように、第1の内導体部112、114、第2の磁極部10bおよび第3の磁極部10cを覆うようにフォトレジスト12を形成する。次に、フォトレジスト12をマスクにして、例えばイオンビームエッチングにより、第1の磁極部10aを選択的にエッチングして、第1の磁極部10aのパターンニングを行う。

#### 10 【0071】

そして、フォトレジスト12を除去した後、図9Aおよび図9Bに示すように第2の内導体部111、113、115を設けるべき位置に、第1の内導体部112、114の保護用フォトレジスト13を配置する。保護用フォトレジスト13は、少なくとも第2の磁極部10bと内導体部112との間、内導体部112と内導体部114の間および内導体部114と第3の磁極部10cとの間に充填  
15 されるように形成する。さらに、形成された積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁層14を4~6 $\mu$ mの厚みで形成する。続いて、保護用フォトレジスト13が露出するまで、例えばCMPによって絶縁層14を研磨する。

#### 20 【0072】

そして、図10Aおよび図10Bに示すように、フォトレジスト13を除去した後、例えばCVD法によって、積層体の上面全体を覆うように、各内導体部を分離するための、例えばアルミナよりなる分離用絶縁膜15を形成する。これにより、第2の磁極部10bと内導体部112との間、内導体部112と内導体部114の間および内導体部114と第3の磁極部10cとの間に、それぞれ分離  
25 用絶縁膜15で覆われた内溝部が複数形成される。なお、分離用絶縁膜15の厚

さは絶縁膜 1 1 の厚さ以下である。よって、分離用絶縁膜 1 5 の厚さは  $0.2 \mu\text{m}$  以下とするのが好ましく、特に  $0.08 \sim 0.15 \mu\text{m}$  の範囲内に設定するのが好ましい。この分離用絶縁膜 1 5 は例えば減圧下で  $100^\circ\text{C}$  以上の温度下で、  
5 薄膜形成に用いられる材料としての  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  または  $\text{H}_2\text{O}_2$  と、薄膜形成に用いられる材料としての  $\text{Al}(\text{CH}_3)_3$  または  $\text{AlCl}_3$  が交互に断続的に噴射されることにより、CVD 法によって形成される膜でもよい。この形成方法によると複数の薄いアルミナ膜が積層されることにより、所望の厚さを有する分離用絶縁膜 1 5 が得られ、各内導体部を互いの間隔を狭めつつ確実に絶縁することができる。

#### 10 【0073】

なお、保護用フォトリソスト 1 3、絶縁層 1 4 および分離用絶縁膜 1 5 の形成順序は次のように変更してもよい。すなわち、第 1 の磁極部 1 0 a をパターンニングし、フォトリソスト 1 2 を除去した後に、積層体の上面全体を覆うように分離用絶縁膜 1 5 を形成する。続いて、保護用フォトリソスト 1 3、絶縁層 1 4 を順  
15 に形成し、保護用フォトリソスト 1 3 が露出するまで絶縁層 1 4 を研磨した後に保護用フォトリソスト 1 3 を除去する。こうすると、絶縁層 1 4 を研磨する前に分離用絶縁膜 1 5 が形成されているので、第 1 の内導体部 1 1 2、1 1 4 を分離用絶縁膜 1 5 により補強した状態で絶縁層 1 4 の研磨が行われる。そのため、絶縁層 1 4 を研磨する際に第 1 の内導体部 1 1 2、1 1 4 が損傷を受けたり、倒壊  
20 したりすることを防止することができる。

#### 【0074】

次に、図 1 1 A および図 1 1 B に示すように、上述の分離用絶縁膜 1 5 で覆われた各内溝部に、第 2 の内導体部 1 1 1、1 1 3、1 1 5 を以下の手順で形成する。

25 まず、積層体の上面全体を覆うようにして、電極膜 1 6 を構成する Cu よりなる第 1 の導電膜をスパッタ法により、例えば  $30 \sim 50 \text{ nm}$  の厚さで形成する。

そして、第1の導電膜の上に同じく電極膜16を構成するCuよりなる第2の導電膜をCVD法により、例えば50～80nmの厚さで形成する。第2の導電膜は、各内溝部、すなわち、第2の磁極部10bと内導体部112との間、内導体部112と内導体部114との間および内導体部114と第3の磁極部10cとの間の各内溝部全体を埋めることを目的とするのではなく、CVD法のステップカバレッジの良さを生かして内溝部を覆うことを目的として形成されている。この第1の導電膜と第2の導電膜とが電極膜16を構成する。電極膜16が後に行われるめっきにおける電極およびシード層として機能する。

#### 【0075】

そして、電極膜16上にめっき法により、例えばCuよりなる導電層17を例えば4～5μmの厚さで形成する。電極膜16および導電層17は、第2の内導体部111, 113, 115を設けるために形成する。このように、本実施の形態では、CVD法によって、Cuよりなる第2の導電膜を形成し、その第2の導電膜上に、めっき法により、Cuよりなる導電層17を形成している。このようにすると、各内溝部、すなわち、第2の磁極部10bと第1の内導体部112との間、第1の内導体部112と第1の内導体部114の間および第1の内導体部114と第3の磁極部10cとの間に、確実に導電層17が埋め込まれる。

#### 【0076】

次に、図12Aおよび図12Bに示すように、例えばCMPにより、第2の磁極部10b、第3の磁極部10cおよび第1の内導体部112, 114が露出するまで導電層17を研磨する。この研磨により、各内溝部、すなわち第2の磁極部10bと第1の内導体部112との間、第1の内導体部112と第1の内導体部114の間および第1の内導体部114と第3の磁極部10cとの間に残った導電層17および電極膜16によって、第2の内導体部111, 113, 115が形成される。このとき得られる第2の内導体部111, 113, 115と、前述の第1の内導体部112, 114とによって、第1の導体群116が形成され

る。こうして得られる第2の内導体部111, 113, 115は、各内溝部に埋め込まれて形成されているので、第1の内導体部112, 114に隣り合うように配置されている。しかも、第2の内導体部111, 113, 115は隣り合う第1の内導体部112, 114との間に分離用絶縁膜15のみが介在している。  
5 したがって、第1の内導体部112, 114と、第2の内導体部111, 113, 115とは互いに絶縁接触構造を形成している。

#### 【0077】

そして、図13Aおよび図13Bに示すように、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁膜19を例えば0.2 $\mu$ mの厚さで形成し、その絶縁膜19のうち、第2の磁極部10bに対応する部分、第3の磁極部10c  
10 に対応する部分、内導体部111~115の各矩形状端部に対応する部分を選択的にエッチングする。

#### 【0078】

次に、エッチングにより露出した第2の磁極部10bとの第3の磁極部10c  
15 上に、例えばフレームめっき法により、本発明における第2の磁極層を構成する第4の磁極部10dと第5の磁極部10eを形成し、内導体部111~115の各矩形状端部の上に、本発明における下部接続層を構成する第1の接続部層をそれぞれ形成する。なお、図13Aには、各第1の接続部層のうち、内導体部114の矩形状端部114bの上に形成された接続部層18aを示している。第4の  
20 磁極部10d、第5の磁極部10eおよび第1の接続部層の材料としては、高飽和磁束密度材料、例えば、飽和磁束密度が2.1TのCoNiFeや、飽和磁束密度が2.3TのFeCo<sub>x</sub>を用いることができる。

#### 【0079】

次に、積層体の上面全体を覆うように、例えば、アルミナよりなる絶縁層20  
25 を2~3 $\mu$ mの厚さで形成する。そして、例えばCMPにより、第4の磁極部10d、第5の磁極部10eおよび第1の接続部層が露出するまで、絶縁層20を

さらに、図 1 4 A および図 1 4 B に示すように、積層体の上面全体を覆うように、スパッタ法によって、磁性層 2 1 を  $0.7 \sim 1.0 \mu\text{m}$  の厚さで形成する。磁性層 2 1 の材料としては、例えば高飽和磁束密度材料が用いられる。例えば、飽和磁束密度が  $2.4 \text{ T}$  の  $\text{CoFeN}$  を用いることができる。

そして、磁性層 21 の上において、第 4 の磁極部 10 d に対応する部分と第 5 の磁極部 10 e に対応する部分にそれぞれエッチングマスク 22 a、22 b を形成し、複数の第 1 の接続部層に対応する部分にもエッチングマスクを形成する。なお、図 14 A には、複数の第 1 の接続部層に対応する複数のエッチングマスクのうち、接続部層 18 a に対応するエッチングマスク 22 c を示している。エッチングマスクの材料としては、例えば金属材料を用いることができる。エッチングマスクは、めっき法、特にフレイムめっき法によって形成してもよい。また、エッチングマスクの材料は、磁性層 21 を構成する材料とは異なる磁性材料を用いてもよい。この磁性材料は、NiFe、CoNiFe を用いることができる。エッチングマスクの厚さは例えば 1 ~ 2  $\mu$ m 程度である。

次いで、図 15 A および図 15 B に示すように、上記各エッチングマスクを用いて、イオンビームエッチングまたは  $Cl_2$  等のハロゲン系ガスを用いた反応性イオンエッチング（以下「RIE」という）を行い、磁性層 21 のエッチングを行う。すると、エッチングマスクの下に残された磁性層 21 によって、本発明における第 3 の磁極層を構成する第 6 の層 10 f および第 7 の層 10 g と、複数の第 2 の接続部層が形成される。こうして得られる第 6 の層 10 f および第 7 の層 10 g と、上述の第 1 の磁極部 10 a、第 2 の磁極部 10 b、第 3 の磁極部 10 c、第 4 の磁極部 10 d および第 5 の磁極部 10 e とによって、本発明における第 1 の磁極群が形成される。

#### 【0082】

第2の接続部層は、本発明における下部接続層を構成するもので、第1の接続部層の上に配置されている。なお、図15Aでは、各第2の接続部層のうち、第1の接続部層18aの上に配置された第2の接続部層18bが示されている。

5 さらに、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁層23を2～3 $\mu$ mの厚さで形成し、その絶縁層23を例えばCMPにより研磨する。この研磨により、エッチングマスク22a, 22b, 22c（他の第1の接続部層に対応する複数のエッチングマスクを含む）が除去されるとともに、第6の磁極部10f、第7の磁極部10g、第2の接続部層および絶縁層23の表面が平坦化され、絶縁層23は第6の磁極部10f、第7の磁極部10g、第2の接続部層の存在しない箇所に配置される。また、この研磨は第6の磁極部10fの厚さが0.5～0.7 $\mu$ mになるように行う。

#### 【0083】

15 ここで、第6の磁極部10fのエアベアリング面30から離れた内側の端部により、記録ヘッドのスロートハイトが与えられる。スロートハイトとは、2つの磁極層が記録ギャップ層を介して対向する部分、すなわち対向磁極部の、エアベアリング面30側の端部から反対側（内側）端部までの距離（長さ）hを意味している。

#### 【0084】

20 次いで、積層体の上面全体を覆うように、記録ギャップ層24を形成するための被膜を形成する。この被膜の材料は、アルミナ等の絶縁材料でもよいし、Ru, NiCu, Ta, W, Cr, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Si<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等の非磁性金属材料でもよい。ここでは、Ruを用いる場合を想定している。そして、被膜のうち、第7の磁極部10gと、複数の第2の接続部層の上に配置されている部分を選択的にエッチングすることによって、記録ギャップ層24を設ける。

25

#### 【0085】

さらに、積層体の上面全体を覆うように、例えばスパッタ法により、第1の磁極部25aを形成するための磁性材料からなる磁性層41を形成する。この磁性層41の材料としては、例えば高飽和磁束密度材料が用いられる。この磁性層41には、例えば、飽和磁束密度が2.4TのCoFeNを用いることができる。

5 次に、積層体の上面全体を覆うようにフォトレジスト42を塗布した上で、パターニングを行い、フォトレジスト42を所定の領域にのみ残す。その残されたフォトレジスト42をマスクにしてエッチングを行い、フォトレジスト42に被覆されていない部分の磁性層41、記録ギャップ層24、第6の磁極部10f、および絶縁層23をエッチングする。このエッチングにより残された磁性層41  
10 により、後に第1の磁極部25aが形成される。

#### 【0086】

さらに、図16Aおよび図16Bに示すように、積層体の上面全体を覆うように、アルミナよりなる絶縁膜43を形成する。

そして、図17Aおよび図17Bに示すように、絶縁膜43とともに、フォトレジスト42を除去するリフトオフを行い、続いて表面をCMPにより適宜研磨する。  
15

#### 【0087】

さらに、図18Aおよび図18Bに示すように、積層体の上面全体を覆うように、例えばスパッタ法により、第1の磁極部25aを形成するための磁性材料よりなる磁性層44を形成する。この磁性層44は、高飽和磁束密度材料で形成するのがよく、例えば飽和磁束密度が2.4TのCoFeNを用いるとよい。続いて、その磁性層44の上に例えばフレームめっき法により、第2の磁極部25bを形成する。第2の磁極部25bも高飽和磁束密度材料で形成するのがよく、例えば飽和磁束密度が2.3TのCoNiFeを用いるのがよい。また、この第2  
20 の磁極部25bは、第6の磁極部10fに対応する位置から第7の磁極部10gに対応する位置にかけて配置されている。  
25



#### 【0088】

次に、第2の磁極部25bをエッチングマスクに用いて、イオンビームエッチングまたは200～250℃の温度での $Cl_2$ 等のハロゲン系のガスを用いたRIEにより、磁性層44のエッチングを行う。すると、第2の磁極部25bに被覆されていて、エッチング後に残った磁性層44により、第1の磁極部25aが形成される。このようにして、第2の磁極部25bと第1の磁極部25aとにより、下部磁極層10の上に上部磁極層25が形成される。

#### 【0089】

続いて、図示しないが、トラック幅規定部25A（図1参照）の周辺で開口するフォトリジストのマスクを形成し、そのフォトリジストのマスクと上部磁極層25とをマスクにして、例えばイオンビームエッチングまたはRIEにより、トラック幅規定部25Aの周辺部における記録ギャップ層24と第6の磁極部10fの一部をエッチングする。この工程により、図18Bに示すようなトリム構造が得られる。

#### 【0090】

次に、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁膜26を0.2～0.5 $\mu m$ の厚さで形成する。続いて、絶縁膜26のうち、複数の第2の接続部層の上に存在する部分を選択的にエッチングし、さらに、フレイムめっき法により、第2の接続部層の上に、本発明における上部接続層として、第3の接続部層を例えば1～2.5 $\mu m$ の厚さで形成する。第2の接続部層の上に、第3の接続部層を配置することによって、接続部群130が形成される。ここで、第3の接続部層の材料としては、例えばCuを用いることができる。図18Aには、複数の第3の接続部層のうち、第2の接続部層18bの上に配置された第3の接続部層18cを示している。

#### 【0091】

そして、図19Aおよび図19Bに示すように、積層体の上面全体を覆うよう

に、例えばアルミナよりなる絶縁膜 27 を 2 ～ 3  $\mu\text{m}$  の厚さで形成する。次に、  
例えばCMPにより、複数の第 3 の接続部層（図 19 では第 3 の接続部層 18 c  
）が露出するまで絶縁膜 27 を研磨する。なお、第 1 ～ 第 3 の接続部層 18 a,  
18 b, 18 c は、内導体部と外導体部とを接続する各接続部を構成する。図 1  
9 A では、内導体部 114 と後に形成される外導体部 125 とを接続する接続部  
138 が示されている。

#### 【0092】

続いて、第 2 の磁極群に絶縁膜 26, 27 を介して第 1 の外導体部 122, 1  
24 を形成するため、フォトリソグラフィにより、フレームを形成し、次いで、  
電極膜を用いて電機めっきを行い、例えば Cu よりなるめっき層を形成する。こ  
のめっき層およびその下の図示しない電極膜が第 1 の外導体部 122, 124 を  
構成する。なお、このめっき層を形成するとき、各矩形状端部（図では矩形状  
端部 124 b）も形成されている。そして、フレームを除去した後、電極膜につ  
いて、第 1 の外導体部 122, 124（それぞれの矩形状端部を含む）の下に存  
在する部分を残し、その他の部分を例えばイオンビームエッチングにより除去す  
る。

#### 【0093】

次に、図 20 A および図 20 B に示すように、第 1 の外導体部 122, 124  
を覆うようにフォトレジスト 32 を形成し、そのフォトレジスト 32 をマスクし  
て、ヨーク長を決める位置に配置すべき例えばアルミナよりなる絶縁部 33 を、  
積層体の上面全体を覆うように形成する。続いて、例えば CMP により、絶縁部  
33 を研磨する。なお、図 20 A では、矩形状端部 124 b が絶縁部 33 により  
被覆されているが、絶縁部 33 を研磨する際に、矩形状端部 124 b が露出する  
ようにしてもよい。

#### 【0094】

そして、図 21 A および図 21 B に示すように、フォトレジスト 32 を除去し

た後、例えばCVD法によって、積層体の上面全体を覆うように、各外導体部を分離するための、例えばアルミナよりなる分離用絶縁膜34を形成する。これにより、絶縁部33と外導体部122との間、外導体部122と外導体部124の間および外導体部124と絶縁部33との間に、それぞれ分離用絶縁膜34によって覆われた外溝部が複数形成される。

#### 【0095】

さらに続いて、上述の分離用絶縁膜34で覆われた各外溝部に第2の外導体部121、123、125を以下の手順で形成する。

まず、積層体の上面全体を覆うようにして、電極膜36を構成するCuよりなる第3の導電膜をスパッタ法により形成する。そして、第3の導電膜の上に同じく電極膜36を構成するCuよりなる第4の導電膜をCVD法により形成する。第4の導電膜は、各外溝部、すなわち、絶縁部33と外導体部122との間、外導体部122と外導体部124との間および外導体部124と絶縁部33との間の各外溝部全体を埋めることを目的とするのではなく、CVD法のステップカバレッジの良さを生かして外溝部を覆うことを目的として形成されている。これらの第3の導電膜と第4の導電膜とが電極膜36を構成する。電極膜36がめっきの際の電極およびシード層として機能する。

#### 【0096】

次に、電極膜36の上にめっき法により、例えばCuよりなる導電層37を形成する。電極膜36および導電層37は、第2の外導体部121、123、125を設けるために形成する。このように、本実施形態では、内導体部のみならず外導体部についても、CVD法によって、Cuよりなる第4の導電膜を形成し、その第4の導電膜上に、めっき法により、Cuよりなる導電層37を形成している。したがって、各外溝部、すなわち絶縁部33と外導体部122との間、外導体部122と外導体部124の間および外導体部124と絶縁部33との間に、確実に導電層37が埋め込まれる。なお、導電層37を埋め込む際に、第2の外

導体部 1 2 1 ~ 1 2 5 と同じ材料、同じ手順により、リード層 1 2 6 も形成されている。

#### 【 0 0 9 7 】

次に、図 2 2 A および図 2 2 B に示すように、例えば CMP により、分離用絶縁膜 3 4 および外導体部 1 2 2, 1 2 4 が露出するまで導電層 3 7 を研磨する。  
この研磨により、絶縁部 3 3 と外導体部 1 2 2 との間、外導体部 1 2 2 と外導体部 1 2 4 の間および外導体部 1 2 4 と絶縁部 3 3 との間に残った導電層 3 7 および電極膜 3 6 によって、第 2 の外導体部 1 2 1, 1 2 3, 1 2 5 が形成される。  
このとき得られる第 2 の外導体部 1 2 1, 1 2 3, 1 2 5 と、前述の第 1 の外導体部 1 2 2, 1 2 4 とによって、第 2 の導体群 1 2 0 が形成される。こうして得られる第 2 の外導体部 1 2 1, 1 2 3, 1 2 5 は、各外溝部に埋め込まれて形成されているので、第 1 の外導体部 1 2 2, 1 2 4 に隣り合うように配置されている。しかも、第 2 の外導体部 1 2 1, 1 2 3, 1 2 5 は隣り合う第 2 の外導体部 1 2 2, 1 2 4 との間に分離用絶縁膜 3 4 のみが介在している。したがって、第 1 の外導体部 1 2 2, 1 2 4 と、第 2 の外導体部 1 2 1, 1 2 3, 1 2 5 とは互いに絶縁接触構造を形成している。

#### 【 0 0 9 8 】

そして、図 4 A および図 4 B に示すように、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなるオーバコート層 2 9 を  $20 \sim 40 \mu\text{m}$  の厚さで形成してその表面を平坦化する。続いて、図示しない電極パッドを形成する。最後に、上記各層を含むスライダの研磨加工を行ってエアベアリング面 3 0 を形成する。以上の工程により、第 1 の導体群 1 1 6、第 2 の導体群 1 2 0 および接続部層群 1 3 0 とによって、薄膜コイル 1 1 0 が形成され、薄膜磁気ヘッド 3 0 0 が得られる。

#### 【 0 0 9 9 】

こうして得られる薄膜磁気ヘッド 3 0 0 は、上述の構成を有するから、抵抗値

を上がることなく、高周波帯域における記録特性が良好になっている。また、上述の製造工程では、各第1の内導体部および第1の外導体部の間に分離用絶縁膜で覆われた溝部を複数設け、その各溝部にそれぞれ第2の内導体部および第2の外導体部を設けて薄膜コイル110を得ている。この製造方法により得られる薄膜コイル110は、先に形成される第1の内導体部および第1の外導体部が後に形成される第2の内導体部および第2外導体部のフレームとして機能するため、各導体部の間隔が製造過程で設けられるフレームの幅に影響されることはない。よって、先に形成すべき各導体部をフレームめっきで形成しても、絶縁接触構造により、各導体部の間隔を極力狭めることができる。

以下、上述した薄膜磁気ヘッド300の構造における第1～第4の変形例について説明する。

#### 【0100】

(第1の変形例)

第1の変形例における薄膜磁気ヘッド300は、薄膜コイルの構成が相違し、他は共通であるから、以下の説明はその相違点について行い、共通点についての説明は省略ないし簡略化する。ここで、図23は第1の変形例における薄膜コイルのうち、第1の導体群116および各接続部を示す平面図、図24は同じく第2の導体群120を示す平面図である。

#### 【0101】

図23および図24に示すように、第1の変形例における薄膜コイルは、第1の導体群116、第2の導体群120および接続部群130を有しているが、上述の薄膜コイル110とは異なり一連の3ターンループを形成している。すなわち、第1の導体群116が複数の内導体部111、114および115を有し、第2の導体群120が複数の外導体部121、124および125を有し、接続部群130が複数の接続部131、137、139、132、138、140を有しており、これらによって、薄膜コイルが全体で3ターンの螺旋状ループを形

成している。その他の点は上述の薄膜コイル１１０と同じであるから、詳しい説明を省略する。この薄膜コイルも、上述の薄膜コイル１１０と同様に、第１の導体群１１６と、第２の導体群１２０がそれぞれ絶縁接触構造を有しているから、各導体部が隙間無く密集し、高密に配置されている。したがって、第１の変形例における薄膜コイルを有する薄膜磁気ヘッド３００も、ヨーク長をより短縮することができる。

#### 【０１０２】

(第２の変形例)

第２の変形例における薄膜磁気ヘッド３００も、上述の薄膜コイル１１０と比較して薄膜コイルの構成が相違し、他は共通であるから、以下の説明はその相違点について行い、共通点についての説明は省略ないし簡略化する。ここで、図２５は、第２の変形例における薄膜コイルのうち、第１の導体群１１６および各接続部を示す平面図、図２６は同じく第２の導体群１２０を示す平面図である。

#### 【０１０３】

図２５および図２６に示すように、第２の変形例における薄膜コイルは第１の導体群１１６、第２の導体群１２０および接続部群１３０を有しているが、接続部群１３０の構成が相違している。第２の変形例における接続部群１３０も、複数の接続部１３１～１４０を有しているが、各接続部１３１～１４０は、隣り合うもの同士で、エアベアリング面３０からの距離が相違する位置に配置されている。すなわち、接続部１３１、１３３、１３５、１３７、１３９と、１３２、１３４、１３６、１３８、１４０の順にそれぞれエアベアリング面３０からの距離が拡大している。また、交差方向の間隔が上述の薄膜コイル１１０と比較して狭められている。

#### 【０１０４】

各接続部１３１～１４０をこのような位置に配置することにより、各接続部１３１～１４０は、エアベアリング面３０に沿った方向と交差方向の双方の方向に

ずれている。このようにして、第2の変形例における薄膜コイルは、各接続部の周囲に、絶縁膜20、23、27の配置される領域を広く確保できるようにしている。なお、その他の構成は、上述した薄膜コイル110と同じであるから、詳しい説明を省略する。

5       【0105】

上述した薄膜コイル110では、各接続部131～140が、エアベアリング面30からの距離が等しい位置に配置されているため、それぞれが互いに邪魔をし合い、絶縁膜20、23、27の配置される領域を広く確保し難くなっている。したがって、隣り合う各接続部の間に絶縁層20、23、27が十分に入り込み難く、空隙が生じるおそれがある。そうすると、その空隙に第2の導体群120の形成に用いられるめっき液等が入り込んで各外導体部の絶縁性が悪化し、薄膜磁気ヘッドの信頼性が低下するおそれがある。これに対し、第2の変形例における薄膜コイルは、各接続部の回りに絶縁膜20、23、27の配置される領域が広く確保されているため、隣り合う各接続部の間に絶縁層20、23、27が十分に入り込み、空隙を生じるおそれが排除されている。

15       【0106】

(第3の変形例)

第3の変形例における薄膜磁気ヘッド300も薄膜コイルの構成が相違し、他は共通であるから、以下の説明はその相違点について行う。ここで、図27は、第3の変形例における薄膜コイルのうち、第1の導体群116および各接続部を示す平面図、図28は同じく第2の導体群120を示す平面図である。

20       【0107】

図27および図28に示すように、第3の変形例における薄膜コイルは、第2の変形例における薄膜コイルと比較して、内導体部112～115と、外導体部121～125の構成が相違し、他は同じ構成有している。

25       内導体部112～115は、内導体部112のエアベアリング面30側の側部

を除いて、それぞれの側部が湾曲している。各側部は、第3の磁極部10cにおける突出部32bの側面形状に対応するように湾曲、すなわち円柱の側面形状に沿った曲面形状を有している（図27および図28では円弧状の曲線）。

#### 【0108】

5        また、本変形例における外導体部121は、側部の形状が第2の変形例における外導体部121と相違し、外導体部122～125は、外導体部122のエアベアリング面30側の側部を除いて、それぞれの側部が、内導体部112～115と同じように湾曲している。このように、内導体部112～115、外導体部122～125の側部が突出部32bの側面形状に対応するように湾曲していると、内導体部112～115、外導体部122～125の経路幅がなだらかに変化するため、電流の流れがスムーズになり、抵抗値の上昇を抑制することができる。また、第2の変形例における薄膜コイルと比較して内導体部112～115と外導体部122～125を形成するためのフォトリソグラフィが容易になり、これらをより微細な形状にすることができる。

#### 15        【0109】

（第4の変形例）

第4の変形例における薄膜磁気ヘッド300も薄膜コイルの構成が相違し、他は共通であるから、以下の説明はその相違点について行う。ここで、図29は、第4の変形例における薄膜コイルのうち、第1の導体群116および各接続部を示す平面図、図30は同じく第2の導体群120を示す平面図である。

20

#### 【0110】

図29および図30に示すように、第4の変形例における薄膜コイルは第1の導体群116、第2の導体群120および接続部群130とを有しているが、第3の変形例における薄膜コイルと異なり一連の3ターンループを形成している。すなわち、第1の導体群116が複数の内導体部111、114および115を有して、第2の導体群120が複数の外導体部121、124および125を有

25



し、接続部群130が複数の接続部131, 137, 139, 132, 138, 140を有しており、これらによって、薄膜コイルが全体で3ターンの螺旋状ループを形成している。その他の点は第3の変形例における薄膜コイルと同じであるから、詳しい説明を省略する。この薄膜コイルも、上述の各薄膜コイルと同様に、第1の導体群116と、第2の導体群120が絶縁接触構造を有しているから、各導体部が隙間なく密集し、高密に配置されている。したがって、この薄膜コイルを有する薄膜磁気ヘッド300もヨーク長をより短縮することができる。

#### 【0111】

##### 第2の実施の形態

次に、図31～図37を参照して、本発明の第2の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドについて説明する。

#### 【0112】

##### (薄膜磁気ヘッドの構造)

本実施の形態にかかる薄膜磁気ヘッドは、第2の導体群120の構造が相違するほかは、第1の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッド300と同じ構造を有している。本実施の形態にかかる第2の導体群120は、図37Aに示すように、第1の実施の形態に係る第2の導体群120と比較すると、第1の外導体部121, 123, 125と第2の外導体部122, 124との間に介在される分離用絶縁膜65が第1の外導体部121, 125と、絶縁部68との間に設けられていない点で相違し、他は同じ構成を有している。したがって、本実施の形態にかかる薄膜磁気ヘッドも、第1の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッド300と同じ作用効果を奏する。

#### 【0113】

##### (薄膜磁気ヘッドの製造方法)

本実施の形態における製造方法では、図8Aおよび図8Bに示すように、フォトレジスト12をマスクにして、第1の磁極部10aのパターニングを行うまで

の工程は、上述した第1の実施の形態に係る製造方法と同様である。本実施の形態において相違するのはこれ以降の工程である。以下では、上述した第1の実施の形態に係る製造方法と相違する点を中心に行い、共通点については説明を省略ないし簡略化する。

5       【0114】

そして、図8Aおよび図8Bに示した工程に続いて、図31Aおよび図31Bに示すように、例えばCVD法により、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる分離用絶縁膜61を形成する。これにより、第2の磁極部10bと内導体部112との間、内導体部112と内導体部114の間および内導体部114と第3の磁極部10cとの間に、分離用絶縁膜61で覆われた内溝部が複数形成される。なお、分離用絶縁膜61の厚さは絶縁膜11の厚さ以下である。よって、分離用絶縁膜61の厚さは $0.2\mu\text{m}$ 以下とするのが好ましく、特に $0.08\sim 0.15\mu\text{m}$ の範囲内に設定するのが好ましい。分離用絶縁膜61は上述の分離用絶縁膜15と同様の方法により形成される。

15       【0115】

次に、積層体の上面全体を覆うように、スパッタ法により、電極膜62を以下の手順で形成する。まず、Cuよりなる第1の導電膜をスパッタ法により、例えば $30\sim 50\text{nm}$ の厚さで形成する。さらに、第1の導電膜の上にCuよりなる第2の導電膜をCVD法により、例えば $50\sim 80\text{nm}$ の厚さで形成する。第2の導電膜は各内溝部、すなわち、第2の磁極部10bと内導体部112との間、内導体部112と内導体部114との間および内導体部114と第3の磁極部10cとの間の各内溝部全体を埋めることを目的とするのではなく、CVD法のステップカバレッジの良さを生かして内溝部を覆うことを目的として形成されている。この第1の導電膜と第2の導電膜とによって電極膜62が形成される。電極膜62は、後に行われるめっきにおける電極およびシード層として機能する。

25       【0116】

そして、電極膜 6 2 上に、めっき法により、例えば Cu よりなる導電層 6 3 を例えば 4 ~ 5  $\mu$  m の厚さで形成する。導電層 6 3 は、第 2 の内導体部 1 1 1, 1 1 3, 1 1 5 を設けるためのものであり、第 2 の内導体部 1 1 1, 1 1 3, 1 1 5 を配置すべき領域に形成する。

5      【0117】

次に、図 3 2 A および図 3 2 B に示すように、導電層 6 3 をマスクにして、電極膜 6 2 のうちの、導電層 6 3 の下に存在する部分以外の部分を除去する。この電極膜 6 2 の除去は、例えばイオンビームの進行方向が第 1 の磁極部 1 0 a の上面に垂直な方向に対してなす角度が 4 5 ° ~ 7 5 ° の範囲内となるイオンビームエッチングによって行ってもよい。あるいは、段差を有する面の上に形成された電極膜 6 2 を完全に除去することができるように、電極膜 6 2 の除去は、希塩酸や希硫酸、または希硝酸を用いたウェットエッチング、あるいは硫酸銅液を用いた電解エッチングによって行ってもよい。

10      【0118】

そして、積層体の上面全体を覆うようにして、例えば、アルミナよりなる絶縁膜 6 4 を例えば 4 ~ 6  $\mu$  m の厚さで形成する。さらに、図 3 3 A および図 3 3 B に示すように、例えば CMP により、第 2 の磁極部 1 0 b、第 3 の磁極部 1 0 c および第 1 の内導体部 1 1 2, 1 1 4 が露出するまで絶縁膜 6 4 を研磨する。この研磨により、第 2 の磁極部 1 0 b と第 1 の内導体部 1 1 2 との間、第 1 の内導体部 1 1 2 と第 1 の内導体部 1 1 4 の間および第 1 の内導体部 1 1 4 と第 3 の磁極部 1 0 c との間に、導電層 6 3 および電極膜 6 2 が埋め込まれるようにして、第 2 の内導体部 1 1 1, 1 1 3, 1 1 5 が形成される。このとき得られる第 2 の内導体部 1 1 1, 1 1 3, 1 1 5 と、既に形成されている第 1 の内導体部 1 1 2, 1 1 4 とによって、第 1 の導体群 1 1 6 が形成される。こうして得られる第 2 の内導体部 1 1 1, 1 1 3, 1 1 5 は、各内溝部に埋め込まれているので、第 1 の内導体部 1 1 2, 1 1 4 に隣り合うように配置されている。しかも、第 2 の内

5 導体部 111, 113, 115 は隣り合う第 1 の内導体部 112, 114 との間  
に分離用絶縁膜 61 のみが介在しているから、第 1 の内導体部 112, 114 と  
第 2 の内導体部 111, 113, 115 とは、互いに絶縁接触構造を形成してい  
る。これまでの工程で、上述の製造方法と同様の状態（図 12A および図 12B  
参照）が得られる。そして、これ以降、図 19A および図 19B に示すように、  
第 1 の外導体部 122, 124 を形成するまでの工程は、上述した第 1 の実施形  
態に係る製造方法と同様である。

#### 【0119】

10 続いて、図 34A および図 34B に示すように、例えば CVD 法により、積層  
体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる分離用絶縁膜 65 を形成す  
る。これにより、これにより、外導体部 122 と外導体部 124 の間に、分離用  
絶縁膜 65 により覆われた外溝部が形成される。

15 次に、積層体の上面全体を覆うようにして以下の手順により、電極膜 66 を形  
成する。まず、スパッタ法により、Cu よりなる第 3 の導電膜をスパッタ法によ  
り、例えば 30～50 nm の厚さで形成する。さらに、第 3 の導電膜の上に Cu  
よりなる第 4 の導電膜を CVD 法により、例えば 50～80 nm の厚さで形成す  
る。この第 3 の導電膜と第 4 の導電膜とによって電極膜 66 が形成される。電極  
膜 66 が後に行われるめっきにおける電極およびシード層として機能する。

#### 【0120】

20 そして、電極膜 66 上に、めっき法により、例えば Cu よりなる導電層 67 を  
例えば 4～5  $\mu$ m の厚さで形成する。導電層 67 は、第 2 の外導体部 121, 1  
23, 125 を設けるためのものであり、第 2 の外導体部 121, 123, 12  
5 を配置すべき領域に形成する。

25 次に、図 35A および図 35B に示すように、導電層 67 をマスクにして、電  
極膜 66 のうちの、導電層 67 の下に存在する部分以外の部分を除去する。この  
電極膜 66 の除去は、上述の電極膜 62 の除去と同様の方法で行えばよい。

### 【0121】

さらに、積層体の上面全体を覆うようにして、例えば、アルミナよりなる絶縁部68を形成し、続いて、図36Aおよび図36Bに示すように、例えばCMPにより、外導体部122、124が露出するまで絶縁部68を研磨する。この研磨により、導電層67と、外導体部122または外導体部124との間に残った電極膜66によって、第2の外導体部121、123、125が形成される。このとき得られる第2の外導体部121、123、125と、既に形成されている第1の外導体部122、124とによって、第2の導体群120が形成される。こうして得られる第2の外導体部121、123、125は、第1の外導体部122、124に隣り合うように配置されている。しかも、第2の外導体部121、123、125は隣り合う第2の外導体部122、124との間に分離用絶縁膜65のみが介在しているから、第1の外導体部122、124と第2の外導体部121、123、125とは互いに絶縁接触構造を形成している。

### 【0122】

そして、図37Aおよび図37Bに示すように、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなるオーバコート層69を形成してその表面を平坦化する。続いて、図示しない電極パッドを形成する。最後に、上記各層を含むスライダの研磨加工を行ってエアベアリング面30を形成する。以上の工程により、第1の導体群116、第2の導体群120および接続部層群130とによって薄膜コイル110が形成され、薄膜磁気ヘッド300が得られる。

### 【0123】

(その他の変形例)

本発明は、上記の各実施の形態に限定されるものではなく、適宜変更することが可能である。例えば、薄膜コイル110は5ターンまたは3ターンに設定したが、薄膜コイルのターン数はこれら以外にも適宜選択可能である。

また、少なくとも第1の導体群までを製造した半製品（薄膜磁気ヘッド用基礎

構造物)を用いて、所望のターン数の薄膜コイルを製造することもできる。その場合は、各接続部の形状と外導体部の数の両方を変更することによって、薄膜コイルのターン数を選択するようにしてもよい。

#### 【0124】

5       さらに、本発明は、誘導型電磁変換素子のみを有する記録専用のヘッドにも適用することができ、誘導型電磁変換素子によって記録と再生を行う薄膜磁気ヘッドにも適用することができる。

一方、上述した各実施の形態では、薄膜磁気ヘッドを上部磁極層と下部磁極層とを有する長手記録ヘッドを例にとって説明したが、本発明は長手記録ヘッドには限られない。本発明は、主磁極層と補助磁極層とを備える垂直記録ヘッドにつ  
10       いても適用がある。

#### 【0125】

(ヘッドジンバルアセンブリおよびハードディスク装置の実施の形態)

次に、ヘッドジンバルアセンブリおよびハードディスク装置の実施の形態につ  
15       いて説明する。

図38は、上述の薄膜磁気ヘッド110を備えたハードディスク装置201を示す斜視図である。ハードディスク装置201は、高速回転するハードディスク(記録媒体)202と、ヘッドジンバルアセンブリ(HGA: Head Gimbals Assembly)215とを有している。ハードディスク装置201は、HGA215  
20       を作動させて、ハードディスク202の記録面に、磁気情報の記録および再生を行う装置である。ハードディスク202は、複数枚(図では3枚)のディスクを有している。各ディスクは、それぞれの記録面が薄膜磁気ヘッド110に対向している。HGA215は、薄膜磁気ヘッド110が形成された基台を有するヘッドスライダ211を搭載したジンバル212と、ジンバル212を支えるサスペ  
25       ンションアーム213とがディスクの各記録面に配置され、支軸214の回りに図示しない例えばボイスコイルモータによって回転可能になっている。そして、

HGA 215を回転させると、ヘッドスライダ211がハードディスク202の半径方向、すなわち、トラックラインを横切る方向に移動する。

【0126】

5      このようなHGA 215およびハードディスク装置201はいずれも薄膜磁気ヘッド110を有するから、高周波帯域における記録特性が優れている。なお、HGA 215およびハードディスク装置201が、第1の実施形態における各変形例に係る薄膜磁気ヘッドまたは第2の実施形態に係る薄膜磁気ヘッドを有するときも、同様に高周波帯域における記録特性が優れている。

【0127】

10      以上の説明に基づき、本発明の種々の態様や変形例を実施可能であることは明らかである。したがって、以下の請求の範囲と均等の範囲において、上記最良の形態以外でも本発明を実施することが可能である。

#### 請求の範囲

1. 記録媒体に対向する媒体対向面の側に互いに対向する磁極部を有し、磁気的に連結された第1および第2の磁極群と、前記各磁極部の間に形成された記録ギャップ層と、前記第1および第2の磁極群に対して絶縁され、前記第1および第2の磁極群の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとが基板上に積層された構成を有し、

前記薄膜コイルは、前記第1の磁極群と第2の磁極群との間に配置された複数の内導体部を有する第1の導体群と、前記第2の磁極群の外側に配置された外導体部を有する第2の導体群と、前記各内導体部と前記各外導体部とを接続する接続部を有する接続部群とを有し、

前記各内導体部が互いに絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を前記第1の導体群が有し、前記各外導体部が互いに絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を前記第2の導体群が有することを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

2. 前記各内導体部のいずれか1つが、前記第1の磁極群に絶縁膜を介して接触していることを特徴とする請求の範囲第1項記載の薄膜磁気ヘッド。

3. 前記第1の導体群および第2の導体群は、前記各内導体部および各外導体部の媒体対向面に交差する方向の配置密度が、前記第2の磁極群の外側から該第2の磁極群に向かって増加していることを特徴とする請求の範囲第1項記載の薄膜磁気ヘッド。

4. 前記各接続部が、第2の磁極群よりも外側において前記媒体対向面に沿って配置されていることを特徴とする請求の範囲第3項記載の薄膜磁気ヘッド。

5. 前記各接続部が、前記媒体対向面からの距離が相違する位置に配置されていることを特徴とする請求の範囲第4項記載の薄膜磁気ヘッド。

6. 前記各内導体部および各外導体部は、前記第2の磁極群に対応する部分からその外側に向かって、経路幅が漸次広がる可変幅構造を有していることを特徴とする請求の範囲第1項記載の薄膜磁気ヘッド。



7. 前記第1の磁極群が、前記媒体対向面に向かって突出する突出部を有することを特徴とする請求の範囲第6項記載の薄膜磁気ヘッド。
8. 前記各内導体部および各外導体部が、前記突出部に対応した箇所に、前記経路幅が最も狭い最狭部を有することを特徴とする請求の範囲第7項記載の薄膜磁気ヘッド。
- 5 9. 前記突出部が、前記媒体対向面に向かって突出する曲面を有することを特徴とする請求の範囲第7項記載の薄膜磁気ヘッド。
- 10 10. 前記各内導体部および各外導体部が、前記突出部の側面形状に対応して湾曲していることを特徴とする請求の範囲第9項記載の薄膜磁気ヘッド。
11. 前記各内導体部または各外導体部の間に介在される前記絶縁膜が、複数のアルミナ膜を積層して形成されていることを特徴とする請求の範囲第1項記載の薄膜磁気ヘッド。
12. 前記第2の磁極群が、2つの平坦な磁極層を積層して形成されていることを特徴とする請求の範囲第1項記載の薄膜磁気ヘッド。
- 15 13. 記録媒体に対向する媒体対向面の側に互いに対向する磁極部を有し、磁氣的に連結された第1および第2の磁極群と、前記各磁極部の間に形成された記録ギャップ層と、該第1および第2の磁極群に対して絶縁され、前記第1および第2の磁極群の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとを、基板上に積層して薄膜磁気ヘッドを製造する薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、
- 20 前記基板上に設けた第1の磁極層上に絶縁膜を介して接触する複数の第1の内導体部および下部接続層と、ヨーク長を決める位置に配置された第2の磁極層とを形成する工程と、
- 前記第2の磁極層および互いに隣り合う前記各第1の内導体部の間に、分離用絶縁膜で覆われた内溝部を形成する工程と、
- 25 前記各内溝部に第2の内導体部を形成し、前記第1および第2の内導体部により第1の導体群を形成する工程と、

前記第 2 の磁極層上に第 3 の磁極層を積層して前記第 1 の磁極群を形成する工程と、

前記記録ギャップ層を設けるようにして、前記第 1 の磁極群上に前記第 2 の磁極群を形成する工程と、

5 前記第 2 の磁極群に絶縁膜を介して接触する複数の第 1 の外導体部と、ヨーク長を決める位置に配置された絶縁部を形成する工程と、

前記絶縁部および互いに隣り合う前記各第 1 の外導体部の間に、分離用絶縁膜で覆われた外溝部を形成する工程と、

10 前記各外溝部に第 2 の外導体部を形成し、前記第 1 および第 2 の外導体部により第 2 の導体群を形成する工程と、

前記下部接続層に上部接続層を配置して接続部群を形成し、該接続部群と、前記第 1 および第 2 の導体群とによって、前記薄膜コイルを形成する工程とを有することを特徴とする薄膜磁気ヘッドの製造方法。

15 1 4. 前記第 1 の内導体部、第 2 の内導体部、前記第 1 の外導体部および第 2 の外導体部をそれぞれめっきにより形成することを特徴とする請求の範囲第 1 3 項記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

1 5. 前記第 2 の内導体部および第 2 の外導体部は、電極膜をスパッタ法により形成し、該電極膜上にめっきによる導電層を形成することによって、形成されていることを特徴とする請求の範囲第 1 3 項記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

20 1 6. 前記分離用絶縁膜を複数のアルミナ膜を積層して形成することを特徴とする請求の範囲第 1 3 項記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

1 7. 記録媒体に対向する媒体対向面の側に互いに対向する磁極部を有し、磁気的に連結された第 1 および第 2 の磁極群と、前記各磁極部の間に形成された記録ギャップ層と、該第 1 および第 2 の磁極群に対して絶縁され、前記第 1 および第 25 2 の磁極群の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとを、基板上に積層して薄膜磁気ヘッドを製造する薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、

前記基板上に設けた第 1 の磁極層上に絶縁膜を介して接触する複数の第 1 の内導体部および下部接続層と、ヨーク長を決める位置に配置された第 2 の磁極層とを形成する工程と、

5 前記第 2 の磁極層および互いに隣り合う前記各第 1 の内導体部の間に、分離用絶縁膜で覆われた内溝部を形成する工程と、

前記各内溝部に第 2 の内導体部を形成し、前記第 1 および第 2 の内導体部により第 1 の導体群を形成する工程と、

前記第 2 の磁極層上に第 3 の磁極層を積層して前記第 1 の磁極群を形成する工程と、

10 前記記録ギャップ層を設けるようにして、前記第 1 の磁極群上に前記第 2 の磁極群を形成する工程と、

前記第 2 の磁極群に絶縁膜を介して接触する複数の第 1 の外導体部を形成する工程と、

15 前記各第 1 の外導体部の表面に前記各外導体部の分離用絶縁膜を形成し、前記各第 1 の外導体部の間に前記分離用絶縁膜で覆われた外溝部を形成する工程と、

前記外溝部を埋めるようにして、前記薄膜コイルの配置領域に導電層を形成する工程と、

20 前記導電層により、前記各第 1 の外導体部に前記分離用絶縁膜を介して接触する第 2 の外導体部を形成し、前記第 1 および第 2 の外導体部により第 2 の導体群を形成する工程と、

前記下部接続層に上部接続層を配置して接続部群を形成し、該接続部群と、前記第 1 および第 2 の導体群とによって、前記薄膜コイルを形成する工程とを有することを特徴とする薄膜磁気ヘッドの製造方法。

25 18. 前記第 2 の内導体部および第 2 の外導体部は、電極膜をスパッタ法により形成し、該電極膜上にめっきによる導電層を形成することによって、形成されていることを特徴とする請求の範囲第 17 項記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

19. 前記分離用絶縁膜を複数のアルミナ膜を積層して形成することを特徴とする請求の範囲第17項記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

20. 基台上に形成された薄膜磁気ヘッドと、前記基台を固定するジンバルとを備え、

5 前記薄膜磁気ヘッドは、記録媒体に対向する媒体対向面の側に互いに対向する磁極部を有し、磁氣的に連結された第1および第2の磁極群と、前記各磁極部の間に形成された記録ギャップ層と、前記第1および第2の磁極群に対して絶縁され、前記第1および第2の磁極群の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとが基板上に積層された構成を有し、

10 前記薄膜コイルは、前記第1の磁極群と第2の磁極群との間に配置された複数の内導体部を有する第1の導体群と、前記第2の磁極群の外側に配置された外導体部を有する第2の導体群と、前記各内導体部と前記各外導体部とを接続する接続部を有する接続部群とを有し、

15 前記各内導体部が互いに絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を前記第1の導体群が有し、前記各外導体部が互いに絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を前記第2の導体群が有することを特徴とするヘッドジンバルアセンブリ。

21. 薄膜磁気ヘッドを有するヘッドジンバルアセンブリと、前記薄膜磁気ヘッドに対向する記録媒体とを備え、

20 前記薄膜磁気ヘッドは、記録媒体に対向する媒体対向面の側に互いに対向する磁極部を有し、磁氣的に連結された第1および第2の磁極群と、前記各磁極部の間に形成された記録ギャップ層と、前記第1および第2の磁極群に対して絶縁され、前記第1および第2の磁極群の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとが基板上に積層された構成を有し、

25 前記薄膜コイルは、前記第1の磁極群と第2の磁極群との間に配置された複数の内導体部を有する第1の導体群と、前記第2の磁極群の外側に配置された外導体部を有する第2の導体群と、前記各内導体部と前記各外導体部とを接続する接

続部を有する接続部群とを有し、

前記各内導体部が互いに絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を前記第 1 の導体群が有し、前記各外導体部が互いに絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を前記第 2 の導体群が有することを特徴とするハードディスク装置。

## 開示内容の要約

- 薄膜磁気ヘッドは、媒体対向面の側に互いに対向する磁極部を有し、磁氣的に連結された第1および第2の磁極群と、各磁極部の間に形成された記録ギャップ層と、第1および第2の磁極群に対して絶縁され、その少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとが基板上に積層された構成を有している。薄膜コイルは、第1の磁極群と第2の磁極群との間に配置された複数の内導体部を有する第1の導体群と、第2の磁極群の外側に配置された外導体部を有する第2の導体群と、各内導体部と各外導体部とを接続する接続部を有する接続部群とを有し、第1、第2の各導体群が、各内導体部同士および各外導体部同士が互いに絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を有する。
- 5
- 10